

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 25.06.90.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 27.12.91 Bulletin 91/52.

56 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

60 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE  
ATOMIQUE Etablissement de Caractère Scientifique,  
Technique et Industriel — FR.

72 Inventeur(s) : Bouyer Bernard et Peccoud Louise.

73 Titulaire(s) :

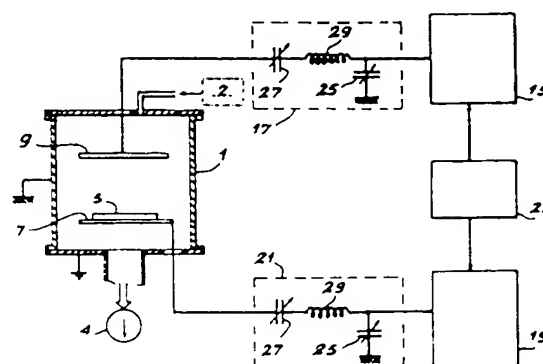
74 Mandataire : Brevatome.

54 Réacteur à plasma du type triode, utilisable notamment pour la gravure, le dépôt ou le nettoyage de surfaces.

57 L'invention concerne un réacteur à plasma du type triode, utilisable notamment pour la gravure, le dépôt ou le nettoyage de surfaces.

Ce réacteur comprend une enceinte étanche (1), des moyens (3) pour introduire un milieu gazeux dans l'enceinte, des moyens pour régler la pression à l'intérieur de l'enceinte, une première électrode porte-substrat (7), une deuxième électrode (9) à radiofréquence, un premier générateur RF (19) relié à la première électrode (7) par l'intermédiaire d'une première boîte d'accord (21), un deuxième générateur RF (15) relié à la deuxième électrode (9) par l'intermédiaire d'une deuxième boîte d'accord (17) et de préférence des moyens (23) pour régler à une valeur allant de 0 à  $2\pi$ , le déphasage entre les signaux RF émis respectivement par le premier générateur (19) et le second générateur (15).

Un tel réacteur permet de contrôler la tension d'autopolarisation de l'électrode porte-substrat et la production de défauts dans le substrat lors de la gravure.



FR 2 663 806 - A1



Réacteur à plasma du type triode, utilisable notamment pour la gravure, le dépôt ou le nettoyage de surfaces."

5                   La présente invention a pour objet un réacteur à plasma du type triode, utilisable notamment pour la gravure, le dépôt ou le nettoyage de surfaces.

10                   Elle s'applique en particulier aux réacteurs à plasma pour la gravure de couches de nature quelconque (isolante, conductrice, semiconductrice) sur des substrats quelconques (conducteurs, semiconducteurs, isolants), par exemple pour la réalisation de structures de relief dans  
15                   le silicium, notamment dans le domaine de la microélectronique, de l'optronique et des capteurs.

                  Pour réaliser des gravures par plasma, on peut créer le plasma en appliquant à un milieu gazeux approprié des ondes électromagnétiques de  
20                   radiofréquence. L'interaction de ces ondes avec le milieu gazeux permet en effet de dissocier le milieu gazeux en espèces ionisées (ions, électrons) et en espèces neutres (atomes, molécules) ; ces différentes espèces constituent  
25                   le plasma et initient des réactions chimiques et physiques sur la couche à graver.

                  Parmi les appareillages connus pour réaliser ces gravures, on connaît des réacteurs du type diode dans lesquels le substrat à traiter  
30                   est placé sur une électrode porte-substrat portée à la puissance radiofréquence. En augmentant la puissance appliquée sur cette électrode, on peut augmenter la densité du plasma et la vitesse de gravure, mais il se produit parallèlement une augmen-

tation de la tension d'autopolarisation du substrat et un bombardement ionique de plus forte énergie qui peut provoquer des dommages importants au substrat. Aussi, avec ces réacteurs, la valeur de la  
5 puissance électrique appliquée à l'électrode porte-substrat doit être limitée, ce qui a pour conséquence de limiter la vitesse du procédé.

Afin d'éviter ce problème, on a utilisé des réacteurs à plasma du type triode pour dissocier  
10 la fonction de création de la décharge de la fonction de polarisation des espèces ionisées. Dans ces réacteurs, la décharge peut être obtenue en appliquant une puissance radiofréquence à la partie supérieure ou aux parois du réacteur pour créer  
15 une décharge dans le réacteur, et la fonction de polarisation des espèces ionisées peut être obtenue en appliquant une puissance à une autre électrode, le porte-substrat par exemple. Ainsi, on peut contrôler la tension de polarisation du substrat  
20 indépendamment de la pression et de la puissance totale radiofréquence durant le procédé, et de ce fait la tension d'accélération et l'énergie maximale du bombardement ionique sur le substrat peuvent être ajustées. Des réacteurs triode de  
25 ce type sont décrits par E. Bogle-Rohwer et al, dans "Solid State Technology", avril 1985 ; par S. Davies et al dans le Vide, Les Couches Minces, supplément au n° 246, mars-avril 1989, p. 240 à 242 ; et par B.N. Chapman dans IBM Technical  
30 Disclosure Bulletin, vol. 21, n° 12, mai 1979, p. 5006 et 5007.

Sur la figure 1, on a représenté un réacteur triode de ce type. Sur cette figure, on voit  
35 que le réacteur comprend une enceinte (1) dans laquelle on peut introduire un milieu gazeux prove-

nant d'un réservoir (2) par la conduite (3) et régler la pression de ce milieu gazeux dans l'enceinte à la valeur voulue par des moyens de pompage (4). Le substrat à traiter (5) est disposé à l'intérieur de l'enceinte sur une électrode porte-substrat (7) et un plasma est créé dans l'enceinte par l'intermédiaire de l'électrode (9) qui est reliée à un générateur d'ondes de radiofréquence (11), les parois (1) du réacteur étant reliées à la masse.

10 Pour polariser les espèces ionisées du plasma, on applique également à l'électrode porte-substrat (7) une puissance radiofréquence. Dans ce réacteur, on utilise un seul générateur d'ondes de radiofréquence (11), et on répartit des puissances

15 différentes sur l'électrode active (9) et sur l'électrode porte-substrat (7) par l'intermédiaire de la capacité variable (13). Dans ce cas, le système de répartition de puissance joue à la fois le rôle de diviseur de puissance et d'accord d'impédance.

20 Il en résulte un manque de souplesse et des difficultés pour régler le niveau de puissance réfléchi par l'électrode porte-substrat (7), pour les différentes zones d'utilisation. Par ailleurs, on ne peut régler indépendamment la tension

25 d'autopolarisation sur l'électrode porte-substrat (7), car dans cette configuration, la tension d'autopolarisation est reliée à la puissance appliquée à cette électrode, ce qui ne permet pas une véritable indépendance des paramètres de la

30 décharge.

La présente invention a précisément pour objet un réacteur à plasma du type triode, utilisable pour la gravure, le dépôt, ou le nettoyage de surfaces, qui pallie ces inconvénients.

Ce réacteur à plasma comprend une enceinte étanche, des moyens pour introduire un milieu gazeux dans l'enceinte, des moyens pour régler la pression à l'intérieur de l'enceinte, une première électrode porte-substrat, une deuxième électrode, et des moyens pour appliquer respectivement des puissances radiofréquence différentes sur la première électrode et la deuxième électrode, caractérisé en ce que les moyens pour appliquer respectivement des puissances radiofréquence différentes sur la première et la deuxième électrodes comprennent :

- un premier générateur d'ondes électromagnétiques de radiofréquence relié à la première électrode par l'intermédiaire d'une première boîte d'accord,

- un deuxième générateur d'ondes électromagnétiques de radiofréquence relié à la deuxième électrode par l'intermédiaire d'une deuxième boîte d'accord, et

- des moyens pour régler à une valeur allant de 0 à  $2\pi$ , le déphasage entre les ondes de radiofréquence émises respectivement par le premier générateur et le second générateur de radiofréquence.

Dans ce réacteur, l'utilisation de deux générateurs d'ondes radiofréquence indépendants permet ainsi de contrôler la puissance radiofréquence appliquée sur l'électrode porte-substrat et de régler indépendamment les paramètres de la décharge. Ceci permet d'accorder avec une grande souplesse l'impédance de la décharge par rapport à l'impédance des générateurs, dans une large gamme de pression et de gaz.

De plus, les fonctions répartition de

tension et accord d'impédance sont totalement séparées.

L'utilisation de moyens permettant de régler à une valeur voulue le déphasage entre les ondes émises par les deux générateurs permet de  
5 fixer le déphasage entre les signaux provenant des deux générateurs. Ainsi le signal présent sur la première électrode (porte-substrat) est la somme, d'une part, d'un signal provenant du générateur radiofréquence alimentant la deuxième électrode,  
10 à travers l'impédance de la décharge, et, d'autre part, d'un signal provenant du générateur radiofréquence alimentant l'électrode porte-substrat. Quand les signaux sont en phase, l'amplitude du  
15 signal sur l'électrode porte-substrat présente un minimum. Donc par le contrôle du déphasage des signaux radiofréquence, on contrôle l'amplitude du signal résultant présent sur l'électrode porte-substrat. Ainsi, de cette manière, on contrôle  
20 la tension d'autopolarisation de l'électrode porte-substrat comme le décrit H.S. Butler dans Phys. Fluids, 6, 1346 (1963).

Dans le réacteur à plasma de l'invention, les radiofréquences utilisées sont généralement  
25 situées dans la gamme de 0,02MHz à 15MHz.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit se référant au dessin annexé sur lequel :

30 - la figure 1 déjà décrite illustre un réacteur à plasma du type triode conforme à l'art antérieur,

- la figure 2 illustre un réacteur à plasma du type triode conforme à l'invention,

35

- les figures 3 à 7 sont des diagrammes représentant l'allure des signaux de tension présents sur les deux électrodes du réacteur de la figure 2,

5                   - la figure 8 est un diagramme représentant les tensions (en volts) d'autopolarisation et de radiofréquence des électrodes en fonction du déphasage entre les signaux radiofréquence appliqués à ces deux électrodes, et

10                   - la figure 9 est un diagramme représentant le nombre de défauts induits dans un substrat gravé avec le réacteur à plasma de l'invention.

En se reportant à la figure 2, où l'on a utilisé les mêmes numéros de référence pour désigner les éléments du réacteur déjà décrits sur la figure 1, on voit que le réacteur à plasma de l'invention comprend une enceinte (1) à l'intérieur de laquelle sont disposées une première électrode radiofréquence (9) et une deuxième électrode porte-substrat (7) sur laquelle on dispose le substrat (5) à traiter. Une conduite (3) permet d'introduire dans l'enceinte à partir de la source (2), un milieu gazeux approprié et des moyens de pompage (4) permettent de régler la pression à l'intérieur de l'enceinte à la valeur voulue. La première électrode (9) est reliée à un premier générateur de radiofréquence (15) par l'intermédiaire d'une première boîte d'accord (17), tandis que la deuxième électrode (7) est reliée à un deuxième générateur de radiofréquence (19) par l'intermédiaire d'une deuxième boîte d'accord (21).

Le dispositif comprend de plus un système de synchronisation (23) qui permet de régler le déphasage entre les signaux émis par les générateurs

35

de radiofréquence (15 et 19) dans la gamme allant de 0 à  $2\pi$ .

5 Dans ce réacteur, les boîtes d'accord (17 et 21) peuvent être du type de celles décrites dans la demande de brevet français FR-A- 2 633 399. Elles permettent d'adapter l'impédance de sortie de chaque générateur de radiofréquence (17 ou 19) à l'impédance d'entrée du réacteur (1).

10 Chaque boîte d'accord comprend une capacité variable (25) encore appelée "capacité d'accord" et une capacité variable (27) encore appelée "capacité de charge". Une borne de la capacité (25) est mise à la masse, tandis que son autre borne est reliée à la ligne issue du générateur de radiofréquence (15 ou 19) ainsi qu'à une borne d'une inductance (29) dont l'autre borne est reliée à une borne de la capacité de charge (27). L'autre borne de la capacité (27) est reliée à l'électrode active (9) (ou l'électrode porte-substrat (7))  
15 du réacteur.  
20

Les générateurs de radiofréquence (15 et 19) peuvent être constitués de circuits électroniques qui génèrent des ondes de puissance radiofréquence à partir d'un signal radiofréquence qui leur est appliqué. On peut utiliser par exemple un générateur ARF 600 commercialisé par Alcatel.  
25

Le système (23) peut être constitué d'un circuit électronique qui génère deux signaux radiofréquence dont le déphasage est contrôlé de 0 à  $2\pi$ . Ces deux signaux sont appliqués aux générateurs de puissance radiofréquence (15 et 19) et servent de signaux horloge pour les deux systèmes de génération de puissance. Le système (23) peut être constitué par exemple par le boîtier  
30  
35



DFC1 commercialisé par Alcatel.

Grâce à ce système, on peut contrôler la tension d'autopolarisation de l'électrode porte-substrat (7) comme on va le voir, ci-après, en se reportant aux figures 3 à 8 qui représentent l'allure des signaux de tension SE1 et SE2 présents respectivement sur les électrodes 9 et 7, lorsqu'on applique une puissance RF P1 de 13,56MHz et de 100 watts sur l'électrode porte-substrat (7), une puissance RF P2 de 300 watts sur l'électrode RF(9) et un débit d'oxygène de 30cm<sup>3</sup> standard/min sous une pression de 2Pa. On mesure l'amplitude de la tension radiofréquence présente sur l'électrode RF(9) qui est de l'ordre de 1000V environ et l'amplitude de la tension radiofréquence présente sur l'électrode porte-substrat (7) varie entre 50V et 400V en fonction du déphasage  $\underline{f}$ .

Sur la figure 3, on a illustré l'allure des signaux de tension SE1 et SE2 obtenus respectivement sur les électrodes (7) et (9) lorsqu'on applique uniquement à l'électrode (9), la puissance RF P2. Dans ce cas, on constate que l'on obtient un signal SE1 de faible amplitude sur l'électrode porte-substrat (7) avec un déphasage  $\underline{f}$  par rapport au signal SE2, car les deux électrodes sont reliées entre elles par l'intermédiaire de l'impédance de la décharge.

Sur la figure 4, on a représenté le cas où l'on applique uniquement la puissance RF P1 sur l'électrode (7). Dans ce cas, on obtient un signal en phase SE2 de faible amplitude sur l'électrode (9).

Sur la figure 5, on a représenté le cas où l'on applique simultanément la puissance RF

P2 à l'électrode (9) et la puissance RF P1 sur l'électrode porte-substrat (7) sans déphasage entre les signaux. Dans ce cas, où les signaux appliqués sont en phase, l'amplitude du signal SE1 présent sur l'électrode porte-substrat (7) est maximale. En effet, le signal présent sur l'électrode (7) est la somme du signal provenant du générateur (19) et d'un signal provenant du générateur (15) à travers l'impédance de la décharge.

En revanche, comme on l'a représenté sur la figure 6, lorsqu'on applique respectivement les puissances RF P2 et P1 aux électrodes (9) et (7), les signaux appliqués présentent un déphasage de  $\pi$ , c'est-à-dire que les signaux sont en opposition de phase, l'amplitude du signal SE1 présent sur l'électrode (7) est minimale.

Dans le cas représenté sur la figure 7 où les signaux présents sur les électrodes présentent un déphasage de  $\pi/2$ , l'amplitude du signal SE1 présent sur l'électrode (7) est intermédiaire entre les deux valeurs précédentes.

Ainsi, en utilisant selon l'invention deux générateurs de radiofréquence (15 et 19) et un système de réglage du déphasage entre les signaux émis par ces deux générateurs, on peut régler à une valeur appropriée l'amplitude du signal radiofréquence présent sur l'électrode porte-substrat, cette valeur étant choisie entre les valeurs minimale et maximale illustrées ci-dessus pour des conditions de décharge (gaz, pression et puissances RF) fixées par ailleurs. Ceci permet de contrôler la tension d'autopolarisation de l'électrode porte-substrat (7) comme il est décrit par H.S. Butler et al dans Phys. Fluids, 6, 1346 (1963).

La possibilité de régler la tension d'autopolarisation de l'électrode porte-substrat (7) en fonction des tensions radiofréquence mesurées aux électrodes (7) et (9) et du déphasage entre les tensions (entre les générateurs RF) pour une puissance P1 de 60W, une puissance P2 de 200W et un débit de chlore de 30cm<sup>3</sup> stand/min, sous une pression de 8Pa, est illustrée sur la figure 8.

Sur cette figure, la courbe 1 se rapporte à la tension radiofréquence observée sur l'électrode (9), la courbe 2 se rapporte à la tension radiofréquence observée sur l'électrode porte-substrat (7), la courbe 3 se rapporte à la tension d'autopolarisation de l'électrode (9) et la courbe 5 se rapporte à la tension d'autopolarisation de l'électrode (7).

Sur cette figure, on constate qu'il est possible, pour des conditions de puissance, de pression et de milieu gazeux fixées, de modifier la tension d'autopolarisation de l'électrode porte-substrat (7), qui caractérise l'énergie des ions.

Ainsi, on peut accorder avec une grande souplesse, l'impédance de la décharge par rapport à l'impédance des générateurs RF et ceci dans une large gamme de pressions et de gaz.

Le taux de puissance réfléchi peut être minimisé de l'ordre de 1%. De plus, les fonctions, répartition de tension et accord d'impédance, sont totalement séparées.

Le contrôle du déphasage permet de modifier l'amplitude du signal radiofréquence sur l'électrode porte-substrat (7), ce qui a pour conséquence de contrôler la tension d'autopolarisation de cette

électrode, avec des conditions de décharge fixées par ailleurs.

A titre d'exemple, on décrit, ci-après, un exemple de gravure d'un circuit MOS, c'est-à-dire d'un circuit particulièrement sensible aux défauts induits par la gravure.

Dans ce cas, le substrat est constitué par du silicium et l'on réalise la gravure dans les conditions suivantes :

10            P1 = 60W                      V1 mesuré = 50V à 400V  
              P2 = 200W                  V2 mesuré = 1000V environ  
avec un débit de chlore de 30cm<sup>3</sup> stand/min sous une pression de 8Pa, et un déphasage de  $\pi/2$ .

On examine ensuite les défauts induits dans le silicium par la gravure en utilisant pour évaluer ces défauts la méthode de mesure des ondes thermiques (TW) décrite par R. Patrick et al dans Semi Conductor International, août 1988, p. 144-147.

Les résultats obtenus sont donnés sur la figure 9 qui représente l'évolution du signal TW pendant l'étape de gravure (courbe 5).

Sur cette figure, on a représenté à titre comparatif les résultats obtenus avec un substrat en silicium non gravé (courbe 6) et un substrat en silicium gravé au moyen du réacteur à plasma de la figure 1 (courbe 7) dans les conditions suivantes :

P1 = 60W                      P2 = 200W

Ainsi, on remarque que le signal obtenu avec le réacteur à plasma de l'invention est proche de celui du substrat non gravé, soit une réduction de 450 à 10 par rapport au signal obtenu sur le substrat gravé avec le réacteur de l'art antérieur.

Le réacteur à plasma de l'invention permet

ainsi de minimiser de façon importante les dommages de substrats en silicium, sans que l'on soit obligé de réduire pour autant la vitesse de gravure.

5

10

15

20

25

30

35

REVENDICATION

Réacteur à plasma du type triode pour la gravure, le dépôt ou le nettoyage de surface d'au moins un substrat, comprenant une enceinte étanche (1), des moyens (3) pour introduire un milieu gazeux dans l'enceinte, des moyens pour régler la pression à l'intérieur de l'enceinte, une première électrode porte-substrat (7), une deuxième électrode (9) à radiofréquence et des moyens pour appliquer respectivement des puissances radiofréquence différentes sur la première électrode et la deuxième électrode, caractérisé en ce que les moyens pour appliquer respectivement des puissances radiofréquence différentes sur la première et la deuxième électrodes comprennent :

- un premier générateur d'ondes électromagnétiques de radiofréquence (19) relié à la première électrode (7) par l'intermédiaire d'une première boîte d'accord (21),

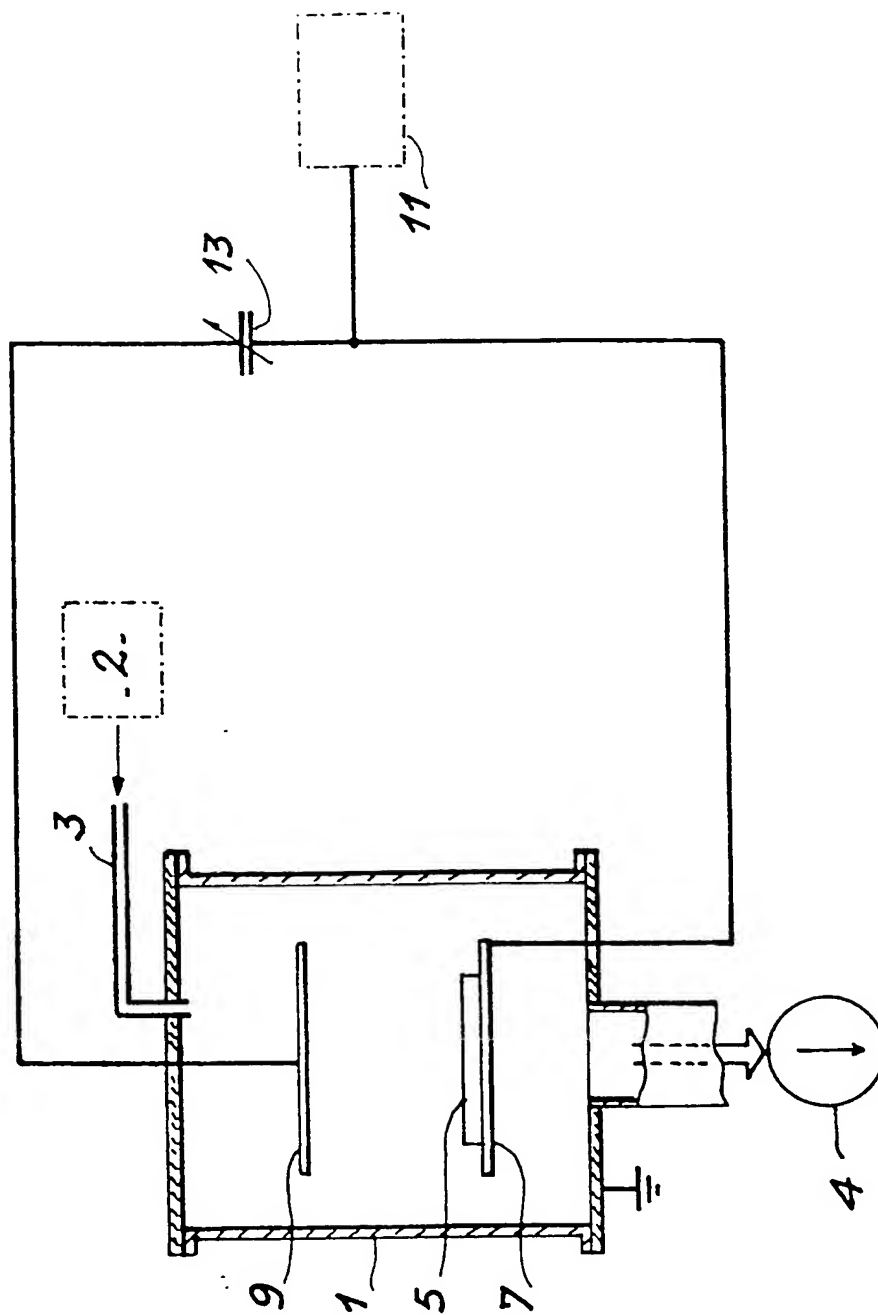
- un deuxième générateur d'ondes électromagnétiques de radiofréquence (15) relié à la deuxième électrode (9) par l'intermédiaire d'une deuxième boîte d'accord (17), et

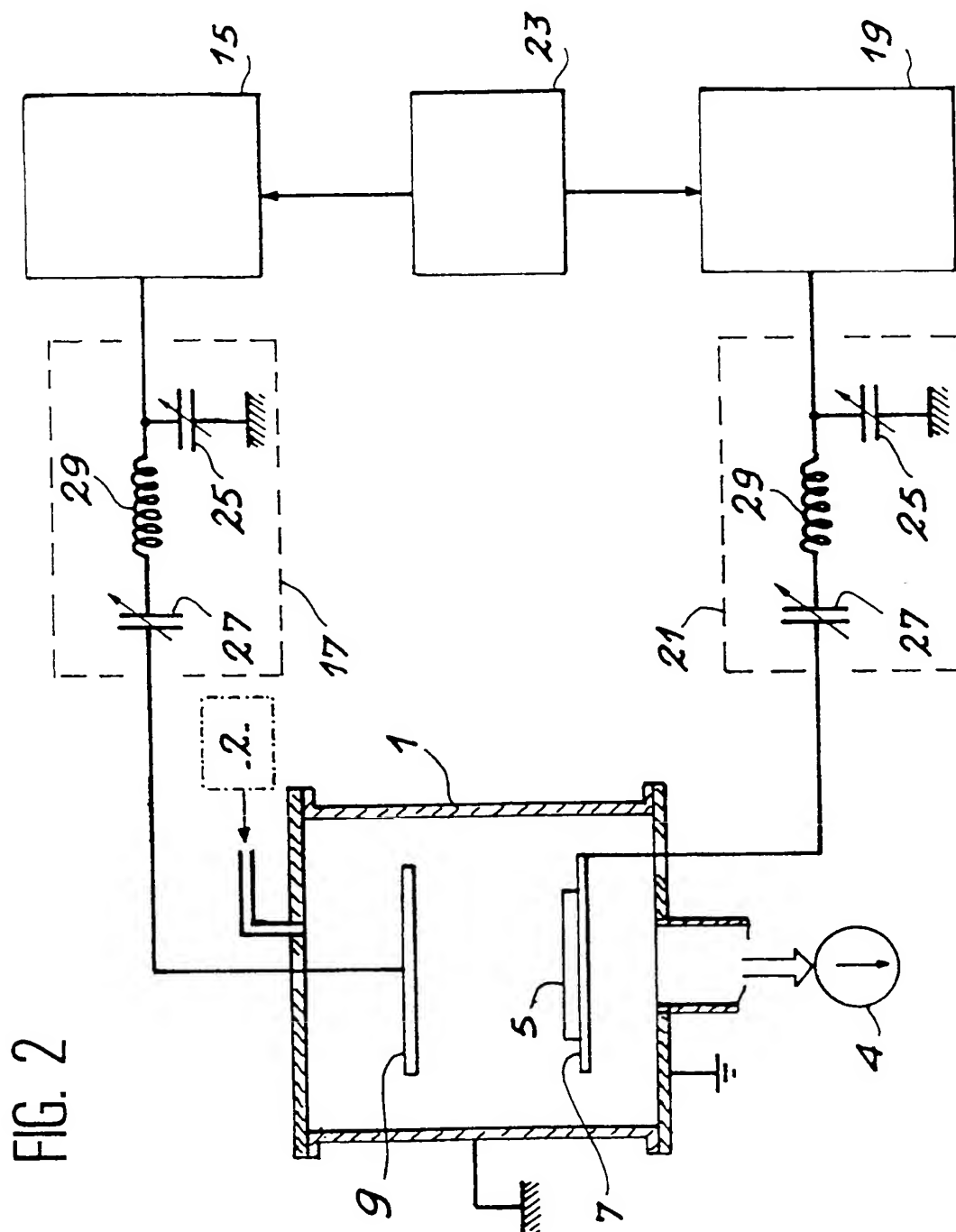
- des moyens pour régler à une valeur allant de 0 à  $2\pi$ , le déphasage entre les ondes de radiofréquence émises respectivement par le premier générateur (19) et le second générateur (15) de radiofréquence.

30

35

FIG. 1







3.5

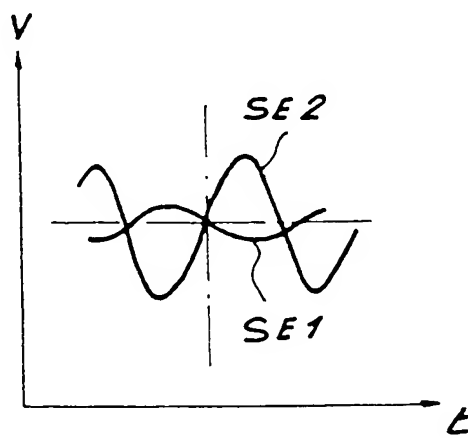


FIG. 3

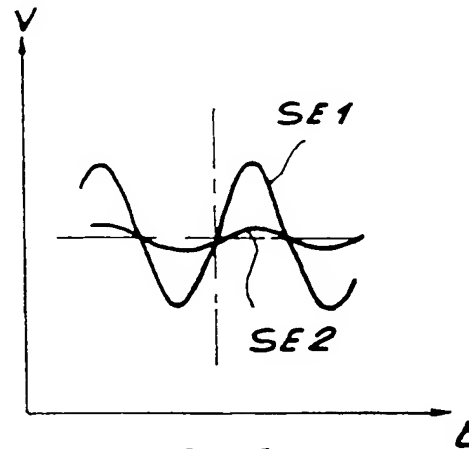


FIG. 4

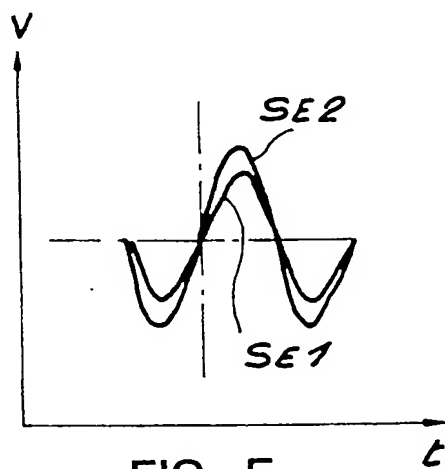


FIG. 5

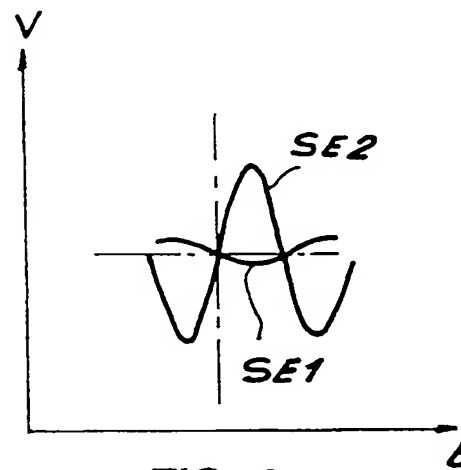


FIG. 6

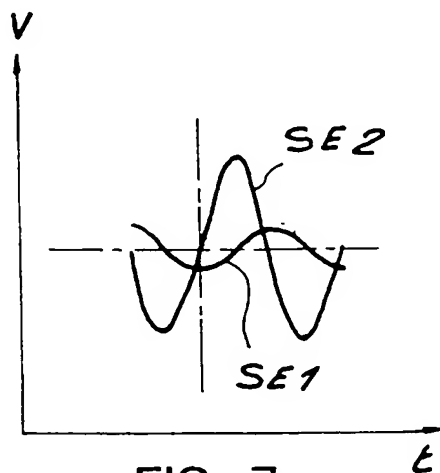
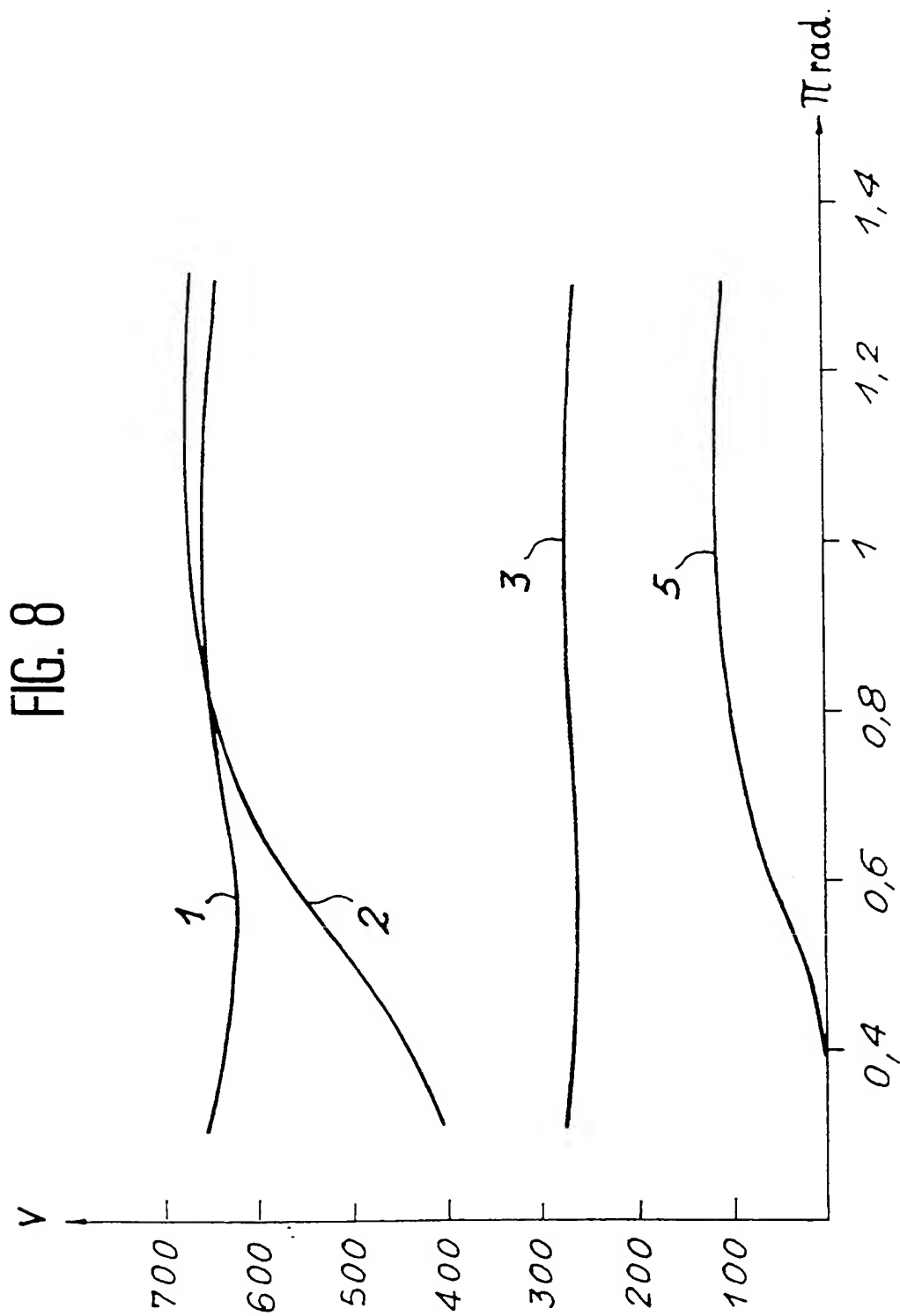


FIG. 7

4,5



5.5

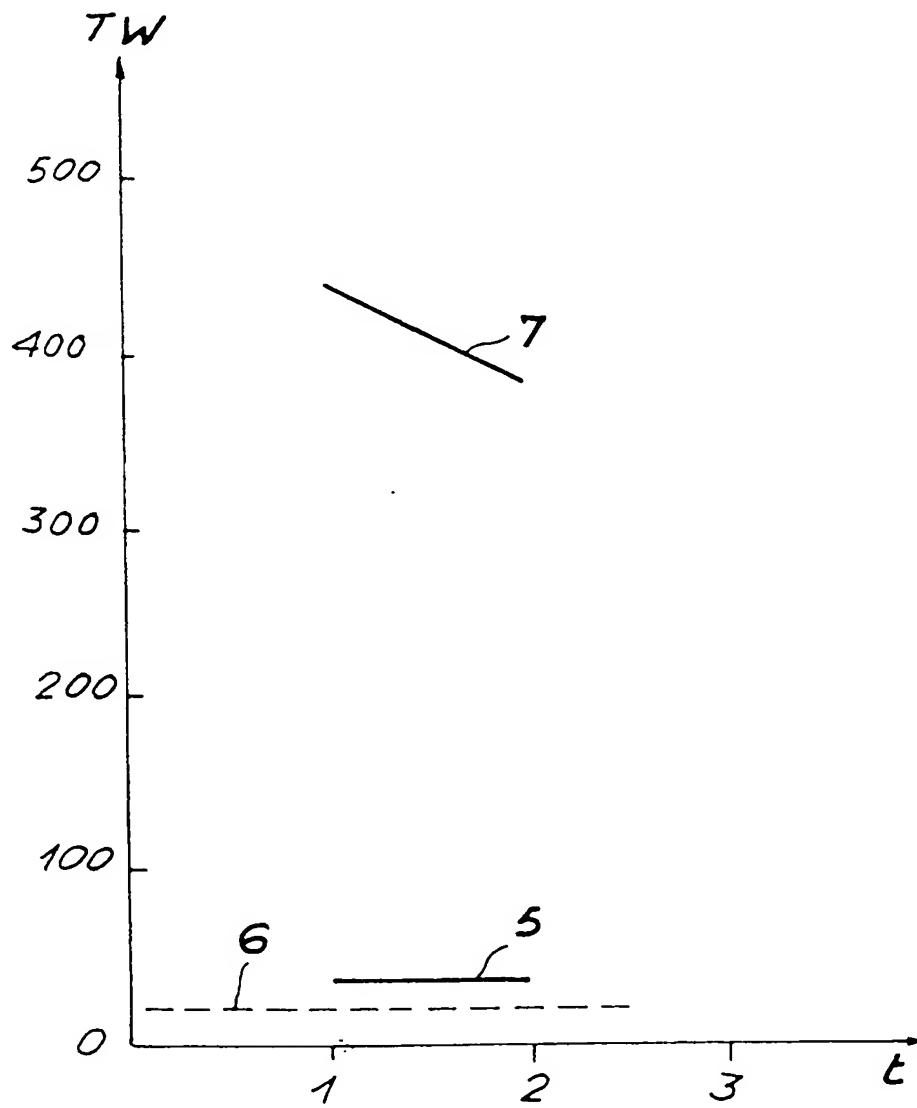


FIG. 9

INSTITUT NATIONAL

de la

PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

## RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la rechercheN° d'enregistrement  
nationalFR 9007947  
FA 444441

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	US-A-4584079 (LEE ET AL.) * colonne 1, lignes 52 - 68 * * colonne 4, ligne 31 - colonne 5, ligne 31; figure 6 * ---	1
X	WO-A-8603886 (BENZING) * page 9, alinéa 3 - page 10, ligne 15; figure 2 *	1
X	NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH, SECTION -B vol. B39, no. 1-4, mars 1989, AMSTERDAM pages 99 - 103; I. Nomura et al.: "Novel method in rf bias sputtering" * pages 99 - 100; figure 2 * ---	1
A	EP-A-359153 (LAM RESEARCH CORPORATION) * abrégé; figure 1 * -----	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		H01J
		RECEIVED JUL 09 1999 WELLS ST JOHN ROBERTS GREGORY & MATYAN, P.S.
Date d'achèvement de la recherche 15 MARS 1991		Examineur SCHAUB G.G.
<b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b> X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant		

EPO FORM 1503 QJ.82 (P0413)